

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ

А. С. Третьяков, О. А. Капитонов

*Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Республика Беларусь*

Научный руководитель Г. С. Ленецкий

Сегодня одним из самых распространенных видов электроприводов как в Республике Беларусь, так и во всем мире являются асинхронные электроприводы по системе «Преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель». Они занимают доминирующее положение на мировом рынке асинхронных электроприводов.

В настоящее время одним из научных направлений кафедры «Электропривод и АПУ» Белорусско-Российского университета становится разработка асинхронных электроприводов по системе «Преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» в децентрализованном исполнении.

Преобразователь частоты – это силовой преобразователь, который регулирует выходное напряжение питания двигателя как по амплитуде, так и по частоте. Для управления данными параметрами существует ряд законов частотного управления. Отдельную нишу занимают преобразователи частоты с векторным управлением без обратной связи. У таких преобразователей в работу цифровой системы управления обычно добавляют так называемых наблюдателей состояния скорости, которые на основе измеренных значений токов, напряжений и потокосцеплений статора восстанавливают форму скорости.

Для работы наблюдателей состояния скорости необходима процедура, которая носит название «идентификация параметров схемы замещения» (рис. 1). Идентификация параметров – это процесс, при котором посредством воздействия на двигатель определенным образом сформированных сигналов напряжения питания определяются активные и реактивные сопротивления фаз статора и ротора.

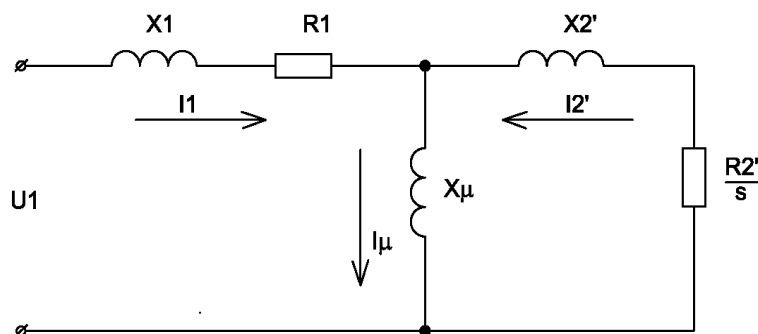


Рис. 1. T-образная эквивалентная схема замещения асинхронного электродвигателя

В качестве активных сопротивлений выступают:

- $R1$  – активное сопротивление фазы статора, Ом.
- $R2'$  – приведенное к статору активное сопротивление фазы ротора, Ом.

В качестве реактивных сопротивлений выступают:

- $X1$  – реактивное сопротивление фазы статора, Ом.
- $X2'$  – приведенное к статору реактивное сопротивление фазы ротора, Ом.

На рис. 2 показан скриншот программного обеспечения для расчета параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя. В качестве исходных данных были использованы паспортные данные двигателя АИР100S4.

Исходные данные	Значение
Номинальная мощность двигателя, кВт $P_{ном}$	3000
Номинальная частота вращения, об/мин $n$	1419
Номинальное напряжение фазы, В $U_{фном}$	220
Номинальный коэффициент мощности $\cos(\varphi)$	0.868
Номинальный КПД $\eta$	0.824
Кратность максимального момента $m_{uk}$	2.09
Синхронная частота вращения, об/мин $n_0$	1500
Активное сопротивление фазы статора, Ом $R_1$	2.41861
Активное сопротивление фазы ротора, Ом $R_2$	2.0407
Индуктивность фазы статора, Гн $L_1$	0.219022
Индуктивность фазы ротора, Гн $L_2$	0.219022
Индуктивность взаимоиנדукции, Гн $L_m$	0.206147

Кнопка: Расчет

Рис. 2. Скриншот программного обеспечения для расчета параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя

Само экспериментальное определение параметров схемы замещения проходит в несколько стадий. На первой стадии преобразователь частоты подает на двигатель напряжения постоянного тока не более 24 В, после чего определяется сопротивление фазы статора  $R_1$ . На второй стадии формируется специальный управляющий сигнал, при подаче которого на преобразователь частоты на двигатель подается кратковременный импульс постоянного тока для подмагничивания магнитной системы, а далее – сформированные по заданному управляющему сигналу напряжения на статор электродвигателя. При этом двигатель не стартует, и железо магнитопроводов статора и ротора не входит в насыщение (при этих условиях можно считать, что параметры схемы замещения неизменны). Далее считываются показания напряжений и токов на статоре, на основе которых идет непрерывный расчет параметров схемы замещения. Расчет заканчивается, когда достигается необходимая точность.

После того, как система определит параметры схемы замещения, начинает работать наблюдатель, считывая полученные параметры.

Наблюдатель состояния – это модель, подключенная параллельно к объекту управления и получающая непрерывную информацию об изменениях регулирующего воздействия и регулирующей величины.

На рис. 3 приведен скриншот программного обеспечения для восстановления графика скорости в табличном и графическом виде (реализация наблюдателя скорости).

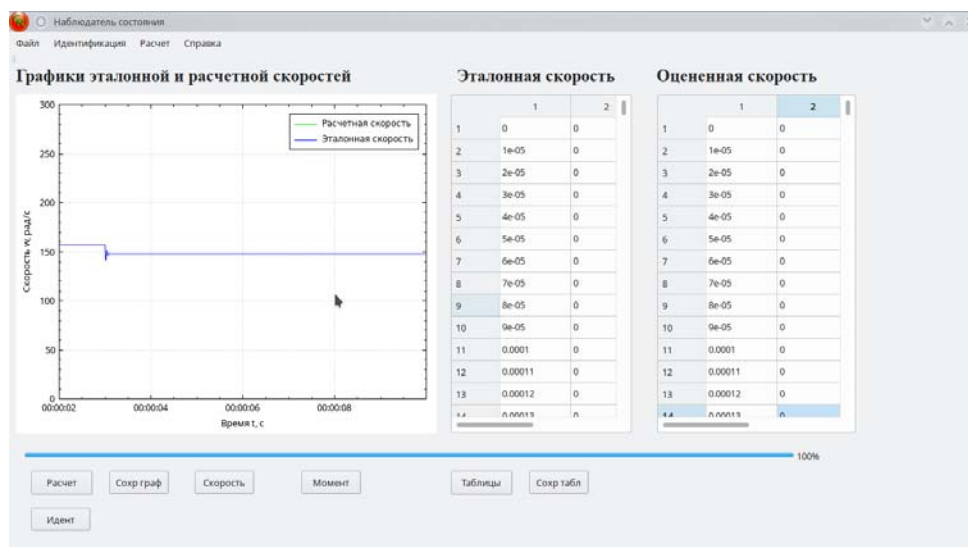


Рис. 3. Скриншот программного обеспечения для работы наблюдателя скорости

Принимая итоговые расчетные данные идентификации параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя, а также постоянно измеряя значения токов и напряжений статора согласно заложенному алгоритму, наблюдатель состояния восстанавливает скорость и поддерживает ее на заданном уровне. Это и демонстрирует рис. 3, на котором в табличном и графическом виде даны эталонная (скорость, измеренная с помощью цифрового датчика скорости), и оцененная (восстановленная) скорости. Хорошо видно, что сигналы эталонной и восстановленной скоростей практически идентичны.

За основу принят наблюдатель состояния Хисао Куботы. Для его реализации система уравнений была переведена вначале в пространство  $z$ -преобразований, а уже на основании  $z$ -преобразований уравнения были представлены в виде разностных уравнений, что значительно облегчило задачу по написанию программного кода для микроконтроллера stm32, а также экономии вычислительных ресурсов системы.

В настоящее время решается проблема учета переменности параметров схемы замещения. В процессе идентификации за счет особых условий эксперимента можно считать эти параметры постоянными. В процессе же работы двигателя эти параметры имеют переменный характер, особенно активные сопротивления статора и ротора. Для их учета реализуется концепция медленной идентификации. Другими словами, формируется отдельный наблюдатель состояния переменных параметров, на основе которого будет функционировать основной.

Вторым направлением работы с наблюдателями является реализация возможности на его основе измерения механической мощности на валу асинхронного двигателя. Для этого был реализован отдельный наблюдатель момента. В конечном итоге, зная отдельные потери (другими словами, определив энергетическую диаграмму), можно оценивать энергетические параметры асинхронного электродвигателя.